REVUE

DES

DEUX MONDES

XXXIe ANNÉE. — SECONDE PÉRIODE

TOME TRENTE-TROISIÈME

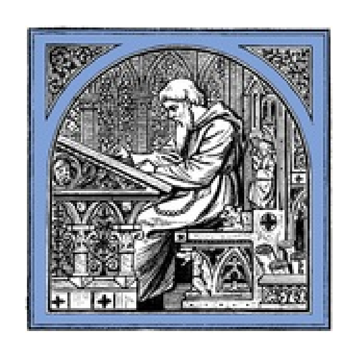
PARIS

BUREAU DE LA REVUE DES DEUX MONDES
RUE SAINT-BENOIT, 20

1861

La Philosophie chimique et les travaux de M. Berthelot

Auguste Laugel



Revue des Deux Mondes, Paris, 1861

LA

PILOSOPHIE CHIMIQUE

ET

LES TRAVAUX DE M. BERTHELOT.

Chimie organique fondée sur la synthèse, par M. Marcellin Berthelot, professeur de chimie organique à l’École de pharmacie ; Paris 1860.

Pendant des siècles, la science fut considérée comme une

branche de la philosophie ; puis vint un jour où elle s’en sépara violemment. Philosophes et savans semblèrent également avoir répudié les glorieuses traditions laissées par Aristote, Descartes, Leibnitz, Pascal. Tandis que les premiers, placés en dehors du mouvement des découvertes modernes et couvrant leur ignorance par le dédain, s’obstinaient à prendre l’âme humaine comme unique objet de leurs investigations, les seconds méconnurent trop souvent les rapports des sciences particulières avec une science, générale : habitués à l’analyse, à l’application exclusive de la méthode expérimentale, ils continuèrent laborieusement leur œuvre, sans se soucier des constructions idéales de la métaphysique. Ce divorce ne pouvait être de longue durée, et comme il semble toucher à sa fin ; peut-être est-il permis de reconnaître qu’il n’a pas été inutile. La science a tenu à prouver son indépendance, elle est désormais à l’abri de toute persécution scolastique ou religieuse ; mais l’esprit de l’homme est un, il est impossible de scinder cette noble ardeur qui l’entraîne vers le vrai. On peut affirmer que l’admirable développement de nos sciences engendrera quelque jour une renaissance des études philosophiques. La métaphysique a toujours eu la prétention défaire entrer le monde phénoménal tout entier dans des moules abstraits, conçus *à priori* par le raisonnement ; mais en réalité elle n’a pu complètement échapper aux influences extérieures, et n’a jamais enfermé dans ses formules que les connaissances répandues autour d’elle. Il devient nécessaire que la philosophie puise enfin dans le trésor accumulé depuis cent ans par la science, et chaque jour accru.

Parmi les découvertes modernes, il en est par exemple qui

sont de la plus haute importance au point de vue spéculatif : la physique, dégagée des antiques et grossières notions des élémens, a réformé les idées que l’on a si longtemps entretenues sur l’essence des corps ; il semble à peine permis de discuter aujourd’hui sur la matérialité, si l’on ignore ce que nous savons dès à présent relativement aux qualités corporelles, à la corrélation intime qui se dévoile entre le mouvement de la substance et les propriétés sensibles dont elle jouit. La science est allée plus loin encore : elle n’a pas seulement étudié avec une rigueur étonnante les qualités sensibles des corps, ce qui leur communique chaleur, électricité, lumière ; elle en a scruté les affinités mutuelles, elle a observé les lois qui président aux associations et aux dissociations des diverses substances. Telle est l’œuvre de la chimie, qui pénètre, on peut le dire, dans ce que la matière a de plus profond, de plus spécifique. De semblables travaux ont un côté philosophique qui ne peut échapper à personne. Tout ce qui tend à déterminer, à, préciser la conception que notre esprit se fait de la matière touche directement au problème fondamental de la métaphysique ; mais l’importance de telles études devient encore plus évidente lorsque, sortant du domaine de la substance inerte et inorganique, la science pénètre dans celui de la substance organisée, vivante. Quiconque a sondé par la pensée le problème de l’être a dû se demander plus d’une fois pourquoi la conscience, l’instinct, le pouvoir de la réflexion semblent attachés nécessairement à des organismes éphémères, esclaves et victimes du temps, contenant en eux-mêmes le germe d’une inévitable destruction, tandis que la pierre, l’eau, l’air, ce qui n’a ni vie propre, ni sensibilité d’aucune sorte, ne change jamais et demeure soumis

à des lois indépendantes de la durée. Étrange dualisme ! D’une part, une matière morte, immuable, éternel abîme d’où sort toute vie et où rentre toute vie ; de l’autre, des combinaisons formées d’élémens identiques, mais associés d’après des règles particulières, le cristal devenu cellule, les élémens de l’air, de l’eau, fixés sous forme d’êtres vivans, non plus seulement passifs, mais actifs, produits des forces naturelles devenus des forces à leur tour : quelle, puissance de transformation ! quelle merveilleuse métamorphose ! Qu’on envisage les termes extrêmes : ici l’homme, âme pensante, être borné dans l’étendue, mais embrassant un monde infini par la pensée ; — là les élémens qui ont servi à le composer, qui se retrouvent dans sa froide cendre ou dans l’atmosphère empoisonnée des cimetières. Quelle distance ! comment réconcilier de semblables phénomènes ? Un moment, une goutte de sang, un grain de poudre, une pierre qui tombe, un rien, rejettent l’être vivant dans l’abîme inorganique ; ce déchirement, ce retour, lent ou instantané, est un problème devant lequel l’esprit recule avec effroi. Volontiers il le rejetterait : il n’aime point à s’arrêter à ces deux termes mystérieux, la naissance ou la mort ; un instinct invincible l’éloigné de tout ce qui rappelle la décrépitude et la décomposition finales aussi bien que la transformation embryonnaire, phases obscures d’une vie encore indécise, monstrueuse et difforme. Tout cela nous épouvante, parce que nous devinons que le redoutable secret de notre destinée s’y trouve caché.

La philosophie spéculative a passé légèrement, sinon dédaigneusement, sur ces problèmes ; elle admet que des rapports existent entre l’être pensant et l’être vivant, mais elle

n’a jamais cherché à les analyser avec rigueur. L’école cartésienne et, depuis Descartes, toutes les grandes écoles, philosophiques ont cru résoudre la difficulté en regardant la pensée comme un des attributs essentiels de la substance, aussi bien que l’étendue ; mais on n’a pas expliqué pourquoi cet attribut ne s’y montre pas toujours de la même manière, pourquoi il ne se révèle sous forme consciente que là où la substance étendue revêt des caractères particuliers, s’organise et devient sujette à des transformations d’une rapidité exceptionnelle. Sur ce point, la science, je me hâte de le dire, ne satisfait pas encore à toutes les questions de la philosophie. Fidèle à la méthode d’observation, elle ne pénètre que pas à pas dans l’infini dédale des phénomènes du monde organique ; mais sa marche devient de plus en plus assurée, son horizon s’élargit de jour en jour, et bientôt elle se trouvera en état d’entreprendre avec fruit l’analyse des phénomènes complexes où interviennent la volonté et la personnalité. En attendant, il est heureux qu’un esprit habitué à la rigueur scientifique, mais porté par goût, par son élévation naturelle, aux généralisations, résume de temps à autre sous forme doctrinale les travaux de ses devanciers et les siens propres. C’est ce que vient d’entreprendre avec un grand succès M. Marcellin Berthelot, professeur de chimie organique à l’école de pharmacie de Paris. En lisant la *Chimie organique fondée sur la synthèse*, ou seulement la longue introduction qui ouvre le premier volume, on connaîtra l’histoire entière de la science chimique, les méthodes sur lesquelles elle s’appuie, le but qu’elle poursuit, les théories qu’elle a fondées, et l’on comprendra en même temps quel service cette science peut rendre à une véritable philosophie. La synthèse chimique a fait, grâce aux beaux

travaux de M. Berthelot, des conquêtes presque inespérées. Le jeune chimiste reproduit artificiellement et en très grand nombre ; non pas des êtres organisés, mais du moins les substances qui entrent dans la composition de l’animal et du végétal. La nature créatrice garde encore ses derniers et plus profonds secrets ; mais quelques-uns du moins lui ont été arrachés.

Malgré tous les progrès accomplis depuis cinquante ans par la chimie organique, dont le nom lui-même est de création toute récente, on est d’abord moins frappé des résultats obtenus que des lacunes énormes qui séparent encore cette science du point où elle touche au problème fondamental de la vie. En maniant tant de substances si diverses, si changeantes, en les voyant passer par toute sorte de transformations, il semble qu’on soit dans un monde purement artificiel, et le laboratoire du chimiste paraît un microcosme de fantaisie qui ne ressemble en rien au monde véritable. Ce n’est qu’à de rares intervalles que l’organisme vivant se dresse devant la pensée, perdue au milieu de tant de métamorphoses artificielles : c’est dans l’animal ou le végétal qu’il faut chercher d’abord ces substances qui deviennent ensuite le jouet du savant. On oublie alors un moment les cornues, les tubes, les fourneaux, lorsqu’on a sous les yeux l’être, laboratoire animé où la nature elle-même règle toutes les réactions. C’est là, on n’en peut douter, ce qui revêt d’un charme puissant, d’un attrait particulier, les études auxquelles s’est voué M. Berthelot. Dans la plupart des autres sciences, l’objet soumis à l’observation et à l’analyse est nettement déterminé. On prend des mesures, on décrit, on cherche des lois ; mais on n’est pas constamment

poussé vers un inconnu tout nouveau. Les mystères n’y pressent pas les mystères dans une succession si rapide ni si imprévue. L’objet de ces sciences est d’ordinaire un vaste tableau dont on veut fixer les contours, mais que l’œil peut embrasser d’un seul coup. La chimie organique au contraire se présente comme un vrai voyage de découvertes, plein d’accidens, de péripéties, et c’est au terme seulement que doit se rencontrer la solution des secrets qui ont de tout temps sollicité le plus vivement la curiosité des esprits amoureux du vrai et désireux de connaître la raison dernière des phénomènes. Rien n’est plus instructif, plus curieux que de suivre cette longue série d’efforts tentés pour mettre la chimie organique en mesure de fournir une base véritablement scientifique à la physiologie. Après les avoir passés en revue, je chercherai à montrer nettement quelle est la nature des rapports que la science est parvenue à surprendre entre le monde organique et le monde inorganisé, quelle est en un mot la doctrine chimique actuelle dans ses caractères les plus généraux et les plus importans. Dans cette double étude, historique et philosophique, on ne saurait prendre un meilleur guide que M. Berthelot, dont l’esprit est aussi familiarisé avec le passé de la science qu’ardent à en poursuivre les progrès, à en agrandir les enseignemens.

I

La chimie organique n’a pu se constituer comme science qu’après les importantes découvertes qui ont donné à la chimie inorganique une base certaine, un corps de doctrine stable et étendu. Le monde vivant emprunte en effet ses élémens à la

matière inerte ; mais si les atomes s’y groupent dans un équilibre plus instable, les affinités des corps simples n’y sont point altérées. La connaissance de ces élémens irréductibles est la base fondamentale de la doctrine chimique moderne ; ils nous fournissent l’unité spécifique et fixent le *nec plus ultra* que l’analyse ne peut dépasser. Avec une soixantaine de substances, on peut reconstruire le monde en pensée. Cette notion des corps simples est toute moderne : l’antiquité fut asservie à la doctrine dès quatre élémens ; les écoles scolastiques du moyen âge ne pénétrèrent pas plus profondément dans la véritable nature de la substance matérielle. Les premières tentatives faites pour décomposer les corps avec l’aide de la chaleur ou des dissolvans donnèrent naissance à la théorie dite des *trois élémens* ; on imagina que les premiers principes des choses étaient au nombre de trois, le *sel*, le *soufre* et le *mercure*, et que le mélange inégal de ces élémens constituait toutes les parties de l’univers. Boyle montra combien cette doctrine était peu satisfaisante : aux quatre élémens d’Empédocle, qui au moins avaient le privilège de se définir clairement, l’eau, l’air, le feu, la terre, on substituait des élémens mal définis, dont on donnait le nom à tout ce que l’on parvenait à extraire des corps, sans étudier la nature véritable et intime de ces parties constituantes. La théorie nouvelle avait pourtant sur l’ancienne un avantage réel, en ce qu’elle reconnaissait la possibilité d’effectuer des changemens dans les corps, et attribuait ces modifications au déplacement, à la séparation ou à la combinaison des élémens primitifs, ou, comme on les nommait parfois, *hypostatiques*. Guidés par cette seule idée, vague encore et mal définie, les chimistes s’appliquèrent surtout à découvrir de nouvelles

substances médicinales. L’art des van Helmont et des Paracelse fut nommé l’art *spagirique*, c’est-à-dire l’art des séparations et des combinaisons. La chimie tout entière était déjà dans ce seul nom ; mais elle ne connaissait aucune règle, et s’abandonnait à l’empirisme le plus grossier. Tout y était désordre et confusion, comme dans ces sombres laboratoires où elle s’exerçait, et que l’art hollandais a si souvent reproduits avec un charme mystérieux.

Les corps simples, au nombre de soixante-deux, sont les élémens de la chimie moderne. Un grand nombre de ces corps a été découvert depuis un siècle ; mais beaucoup d’entre eux étaient connus de toute antiquité, notamment les métaux usuels. Les anciennes théories n’y voyaient point une substance unique. Beccher, qui vécut de 1625 à 1682 et fut médecin de l’électeur de Bavière, considérait les métaux comme formés d’une terre et d’une matière qui s’en séparait lorsque les métaux étaient soumis à la combustion. Le fer, par exemple, était regardé par lui comme un mélange de ce que nous nommons la rouille et de cette substance hypothétique qu’il nommait le *soufre* par respect pour la tradition paracelsienne. Stahl, qui adopta les idées de Beccher (il vécut de 1660 à 1734, professa à Hall, et fut plus tard médecin royal à Berlin), appela cette substance du nom nouveau de *phlogiston* ou combustible. Il fut le vrai fondateur de la théorie phlogistique, qui donna naissance à la théorie de la combustion, aujourd’hui universellement admise, et fondée sur la découverte du gaz oxygène. Les idées de Stahl sur la production des métaux au moyen de leurs terres (ou oxydes, pour employer la terminologie actuelle), par l’addition dû phlogistique, furent

adoptées dans toute l'Europe. Elles exercèrent une telle influence sur les esprits, qu'au moment où l'on découvrit les deux gaz simples dont l'étude devait révolutionner toute la science, l'oxygène et le chlore, on les nomma d'abord : le premier, air sans phlogistique ou déphlogistiqué ; le second, acide muriatique sans phlogistique [1]. La découverte de ces corps simples, celle de la théorie véritable de la combustion, les travaux célèbres de Lavoisier et de son, école, renversèrent rapidement l'ancienne théorie. La distinction des corps simples et, des corps composés avait désormais une base solide, et la classification chimique devint possible.

Il ne suffisait pas de reconnaître l'existence des corps simples et des corps composés, Les combinaisons des corps simples sont-elles réglées par des lois fixes et invariables, ou doivent-elles être regardées seulement comme des mélanges qui peuvent s'opérer en toutes proportions ? Les propriétés de ces agrégats sont-elles permanentes, ou varient-elles d'une manière indéfinie ? Ces questions étaient encore indécises au commencement du XIXe siècle. Depuis longtemps, il est vrai, on avait une idée vague de ce que nous nommons aujourd'hui l'affinité, c'est-à-dire de la force qui règle les combinaisons des corps simples. Le premier savant qui formula cette notion avec quelque netteté fut Francis de Le Boë (Sylvius), qui naquit en 1614 et exerça la médecine à Amsterdam avec un grand succès. Avant lui déjà, on distinguait des corps acides et des alcalis ; mais Sylvius généralisa le sens de ces expressions pour y trouver les termes corrélatifs de toute combinaison chimique, et il les appliqua même aux fluides qui entrent dans la composition du corps humain. Il mit à la mode un jargon

chimico-physiologique qui fit promptement fortune, et dont on retrouve encore la trace dans les comédies de Molière. La notion de l’acidité et de l’alcalinité impliquait celle d’une affinité naturelle de certains corps, rangés dans la catégorie des acides, pour d’autres corps, classés parmi les bases ou alcalis. On admettait d’une manière générale l’existence de ces attractions occultes ; mais il fallait comprendre également qu’elles ont quelque chose de spécifique, qu’elles varient en intensité d’une substance à l’autre, en un mot que les affinités sont *électives*. On trouve pour la première fois cette pensée exprimée avec force et avec précision dans une étude d’un chimiste français trop peu connu, Geoffroy, insérée dans les *Mémoires de l’Académie des Sciences* en 1718. Ce savant donna même une liste des corps, rangés suivant l’ordre d’affinité. Proust, au commencement du siècle, apporta un grand nombre de faits à l’appui des idées de Geoffroy ; mais ses théories furent combattues avec beaucoup de talent par Berthollet, qui ne regardait les composés chimiques que comme dès mélanges indéterminés. C’est aux chimistes anglais Dalton et Wollaston que la science doit d’être fixée définitivement sur un point aussi essentiel. On sait aujourd’hui, grâce à leurs beaux travaux, que lorsque deux corps simples s’unissent, ils se marient *en proportions définies*, c’est-à-dire que les élémens constituans se combinent en proportions qui, pour chacun des composés obtenus, demeurent invariables. On sait de plus que si deux élémens sont capables de former divers composés en se combinant suivant diverses proportions, le poids de l’un de ces élémens constituans étant supposé constant, les poids des seconds élémens ont entre eux des rapports simples et forment une sorte d’échelle qui reste la

même, quelles que soient les substances qu'on fasse agir les unes sur les autres. Ces règles, en quelque sorte numériques, s'imposent à toutes les combinaisons matérielles. De ces deux lois fondamentales, *loi des proportions définies*, *loi des proportions multiples*, ressort naturellement l'idée de ce que l'on nomme l'*équivalent*, symbole numérique qui représente chaque corps simple dans toutes ses combinaisons, véritable unité chimique qui caractérise l'atome dans ce qu'il a de permanent, de spécifique. Ces grandes lois furent découvertes par la chimie minérale. Sans elles, l'étude de la chimie organique serait demeurée un véritable chaos.

Tous les essais tentés jusqu'à cette découverte pour connaître la composition des matières qui se forment dans les végétaux et les animaux avaient été à peu près infructueux. La méthode empirique n'aboutit à rien, lorsqu'elle n'est pas guidée par une induction sûre et une conception générale. Or les idées relatives aux propriétés des substances organiques étaient aussi fausses que confuses. On avait, il est vrai, remarqué que ces propriétés ne résident pas d'ordinaire dans l'ensemble des corps où on les observe, mais dans certaines parties faciles quelquefois à isoler. Pour séparer ces parties ou *essences*, les philosophes arabes avaient inventé la distillation. La recherche des *essences* ou *formes* se rattachait à la conception métaphysique de la matière que l'antiquité avait admise, et que les écoles scolastiques du moyen âge avaient acceptée comme un legs précieux. Aux yeux de la science antique, la matière jouissait d'une sorte de dualité ; elle comprenait d'une part quelque chose d'immuable, dépourvu de qualités déterminées, mais susceptible de revêtir toutes les

qualités, sans mouvement propre, mais capable de recevoir tous les mouvemens, un *substratum* caché sous les phénomènes, — et d'autre part des essences ou formes qui, s'ajoutant à la matière purement virtuelle, en déterminaient les mouvemens, les apparences, en un mot les propriétés. En comprenant de cette façon la composition de la matière, il n'y avait rien d'absurde ni d'extraordinaire à rechercher la pierre philosophale. Pour l'alchimiste, l'or n'était pas un corps simple ; c'était un mélange du *substratum* matériel avec l'essence capable de donner la couleur, le poids, la dureté, toutes les qualités de l'or. Si donc cette essence pouvait être isolée, s'il était possible de l'introduire dans une matière quelconque, il serait permis d'opérer cette fameuse transmutation, rêve de tant de philosophes.

Tous les efforts de la science, inspirés par une métaphysique trompeuse, devaient tendre naturellement à la découverte des essences. On attribuait la saveur douce dans les corps à un principe doux, la saveur amère à un principe amer unique, l'odeur à ce que l'on nommait l'*esprit recteur*, l'acidité à un principe acide, etc. ; mais la plupart des essais entrepris pour décomposer les corps et en soutirer les parties essentielles conduisaient à des résultats négatifs et propres à confondre d'étonnement ceux qui s'y appliquaient. La distillation détruisait le plus souvent les principes végétaux qu'elle devait séparer, et l'alchimiste se demandait comment les substances si diverses qu'il s'efforçait d'analyser se réduisaient toujours dans les mêmes substances générales, eau, huile et gaz. Aucune différence entre ce qui provenait du poison et du contre-poison, de l'amer et du sucré, du froment et de la ciguë. La nature se

jouait des théories. Ce résultat négatif avait pourtant une immense valeur. Il montrait que les composés organiques végétaux, réduits à leurs derniers élémens, ont une parenté manifeste et sont tous formés des mêmes corps simples ; les composés organiques provenant des animaux n’en diffèrent que parce qu’ils contiennent un corps simple de plus. Cette identité élémentaire avait de quoi étonner en présence de l’infinie variété du monde organique, des formes, des couleurs, des propriétés physiques et chimiques que nous y apercevons. Quatre corps simples ont suffi cependant pour bâtir ce miraculeux édifice. Associés en proportions variées, ils forment tous ces groupemens, dont le nombre est en quelque sorte infini. Les forces qui les rattachent s’équilibrent des façons les plus diverses, et ces équilibres, toujours changeans, se succèdent à travers des métamorphoses sans fin.

Les deux termes extrêmes de la chimie organique sont : d’une part le végétal ou l’animal vivant, de l’autre ces quatre corps simples, — carbone, oxygène, hydrogène, azote, — qui forment le tissu de toute substance organisée, et qui subsistent encore lorsque le principe mystérieux de la vie a disparu. L’*analyse élémentaire* est l’opération chimique qui ramène les matières organisées à ces derniers élémens ; elle opère ce que fait la mort elle-même, une véritable destruction, un retour de l’organisation à l’inertie primitive. Nécessaire pour nous démontrer la permanence, la simplicité fondamentale des élémens chimiques qui caractérise la nature vivante, l’analyse élémentaire ne nous enseigne en réalité rien sur les opérations à l’aide desquelles la vie s’assimile les corps simples, les fait circuler dans l’être organisé, les transforme, leur donne cette

mobilité, cette délicatesse, ces grâces éphémères, cette exquise sensibilité, qui contrastent avec l'éternelle et froide immobilité du monde minéral.

C'est ici qu'intervient une opération qui fournit à la chimie organique les véritables élémens de ses délicates investigations : c'est l'*analyse immédiate*. Expliquons ce mot : les corps simples, dont l'analyse élémentaire révèle l'existence dans toute matière organisée, n'y sont pas mélangés au hasard ; ils s'y groupent de manière à produire des substances d'une composition chimique constante. Ces groupes, véritables *espèces* de la chimie organique, ne forment point isolément des êtres vivans ; mais tout être vivant les renferme en nombre plus ou moins grand. Le sucre, l'albumine, l'amidon, ne sont ni des espèces minérales, comme le silex, la chaux ou l'argile, ni des êtres organisés proprement dits : ce sont les principes constituans de semblables êtres, ou, comme s'exprime la science, des principes *immédiats*. Pour s'emparer des matériaux inorganiques, la force qui produit et entretient la vie est obligée de construire d'abord ces groupes qui servent de lien entre la matière inerte et la matière douée d'un mouvement propre.

Comment procède l'analyse immédiate ? « Examinons un fruit, un citron par exemple, dit M. Berthelot. Cette matière n'est pas simple. Exprimons d'abord le citron, nous obtiendrons deux matières nouvelles : l'une liquide, douée d'un goût acide et sucré, c'est le jus du fruit ; l'autre solide et odorante, c'est l'enveloppe du fruit. Étudions-les séparément. En soumettant la partie liquide à l'analyse de façon à isoler les matières qu'elle renferme, sans cependant leur faire éprouver

d’altération, nous la résoudrons dans un certain nombre de matériaux primitifs ou principes immédiats, tels que l’acide citrique, auquel est due la saveur acide, le sucre de raisin et le sucre de canne, dans lesquels réside le principe sucré, une substance analogue à l’albumine, etc., enfin de l’eau qui tient en dissolution les matières précédentes. L’acide citrique, le sucre de raisin, le sucre de canne, etc., en un mot chacun des corps composés par cette première analyse est doué de propriétés constantes et définies : on ne saurait le séparer en plusieurs substances nouvelles sans faire disparaître toutes ses propriétés. » On conçoit sans peine quel intérêt s’attache à l’étude de ces principes, qui sont les intermédiaires constans et nécessaires entre l’organisation et l’état inorganique. D’un côté la vie, de l’autre la mort, et, pour combler l’abîme, un monde ambigu de formes et de combinaisons spéciales où la vie choisit les agens de ses métamorphoses, où la mort reprend sans cesse tous les élémens qui échappent à l’action vitale. Puisque l’homme dans ses études ne peut procéder que du simple au composé, la première étape de la biologie, c’est-à-dire de la science de la vie, doit être forcément l’étude des principes immédiats. On ne peut comprendre une machine sans connaître les divers mécanismes qui s’y agencent et y exercent une action mutuelle.

L’étude des principes immédiats est la clé de voûte de l’édifice chimique. Ce n’est que vers le milieu du XVIIIe siècle qu’on commença à en comprendre l’importance et qu’on s’attacha à les isoler. Pour les obtenir, on profitait ordinairement de l’action même des forces naturelles : on recueillait le camphre sur l’arbre même qui le sécrète, les

gommes sur les végétaux qui les portent, le coton sur le cotonnier ; les résines étaient obtenues au moyen d'incisions pratiquées sur les pins et les mélèzes, sur le sapin argenté ; on avait également recours à l'action des dissolvans neutres, tels que l'eau et l'alcool, qui enlèvent, sans les détruire, aux végétaux et aux produits animaux quelques-unes de leurs parties constituantes. C'est par ces procédés que plusieurs chimistes, parmi lesquels il faut citer surtout Scheele, découvrirent un assez grand nombre d'acides organiques : l'urée fut reconnue dans l'urine, les sucres dans les fruits et dans divers végétaux. On ignorait pourtant encore, à la fin du dernier siècle, la définition véritable des principes immédiats ; on ne savait pas qu'ils étaient formés d'élémens invariables et doués de propriétés constantes. Dans les ouvrages écrits à cette époque, les corps qui méritent ce nom se trouvent mêlés avec une foule d'autres substances qui, mélanges elles-mêmes de principes immédiats en proportion très variable, ne jouissent d'aucune propriété définie. Fourcroy par exemple, dans sa *Philosophie chimique*, donne la liste suivante des élémens constituons des végétaux : la sève, le muqueux, le sucre, l'albumine, les acides, l'extractif, l'amidon, le tannin, le glutineux, la matière colorante, l'huile fine, la cire végétale, l'huile volatile, le camphre, la résine, la gomme-résine, le baume, le caoutchouc, le ligneux, le salin. « En séparant, dit-il, ces vingt genres de composés d'un végétal, on fait son analyse très exacte. » Aujourd'hui, dans toute cette série de substances, nous ne reconnaissons que *deux* principes immédiats : le sucre et l'amidon. Tandis que Ton admettait comme tels des corps dépourvus d'une composition constante, Fourcroy et Vauquelin regardaient de véritables principes comme de simples

mélanges. Les opinions ne se fixèrent sur ce point délicat que lorsque la chimie minérale eut découvert la loi des proportions définies, et qu'on en fit l'application aux substances tirées de la nature organique.

La révolution opérée par Lavoisier porta rapidement ses fruits, et dès l'année 1824 M. Chevreul déclarait que « la base de la chimie organique est la définition précise des principes immédiats qui constituent les végétaux et les animaux. » Appliquant cette idée nouvelle à un sujet spécial, il avait publié, dans l'intervalle de 1813 à 1823, une série de *mémoires* sur les corps gras d'origine animale. Ces beaux travaux marquent une époque dans l'histoire de la science. À l'aide de lavages successifs, il réussit à extraire de ces graisses les principes qui les composent ; il reconnut que les graisses, les huiles et les beurres sont des mélanges en proportions variées d'un petit nombre de substances. Les principales d'entre elles, nommées par lui stéarine, margarine, oléine, donnent naissance, en s'associant, à l'huile d'olive, à l'huile de palme, à l'huile d'amandes douces, à la graisse d'homme, au suif de bœuf et de mouton, à l'axonge, à la graisse d'oie. Unies à certains composés odorans et tout à fait analogues, elles constituent le beurre et les huiles de poisson. Il montra enfin que tous ces principes immédiats peuvent se résoudre en une substance unique, nommée glycérine, et en un acide gras variable (parmi ces acides, il en est un bien connu, l'acide stéarique, qui constitue la bougie), et il fit voir que ces acides gras, en s'unissant à des alcalis, produisent des savons. Il fut démontré ainsi qu'une seule série de corps est due à des mélanges en proportion indéfinie d'un petit nombre de

principes immédiats, doués individuellement de propriétés définies.

Presqu'en même temps, Gay-Lussac jetait une lumière nouvelle dans l'étude d'une autre série de corps qui jouent un rôle prépondérant dans la chimie organique. L'alcool était connu dès longtemps : les Arabes l'avaient extrait du vin par la distillation, et les alchimistes l'employaient sous le nom d'esprit ardent. Dès le XVIe siècle, on avait aussi reconnu qu'en distillant ensemble l'alcool et l'acide sulfurique, on obtient un liquide nouveau, l'éther. On avait même découvert que d'autres acides donnent également avec l'alcool un produis éthéré, l'acide du sel marin, celui, du vinaigre. Sous cet ensemble, de phénomènes se cachait une loi générale. Gay-Lussac fit le premier pas vers cette découverte : il montra par l'analyse la relation qui existe entre l'alcool, l'éther, l'eau ordinaire et une substance binaire composée de carbone et d'hydrogène. Ces relations furent depuis généralisées par M. Dumas et d'autres chimistes ; l'alcool et l'éther sont devenus les types d'une classe nombreuse de composés soumis en quelque sorte à une hiérarchie chimique uniforme. Ces belles découvertes, en même temps que les travaux de Gay-Lussac relativement à la décomposition du sucre en alcool et en acide carbonique sous l'influence de la fermentation, établissaient les premiers liens entre les substances inorganiques et ces composés plus instables qu'on ne rencontre qu'au sein de la nature organique.

Maîtresse de ces premiers secrets, la science nouvelle fit des progrès de plus en plus rapides ; au lieu de détruire d'un seul coup les substances organiques, elle apprit à les décomposer en

leurs parties constituantes : elle opéra cette réduction d’une manière savante et graduée, de façon à parcourir un à un tous les degrés qui séparent les composés vivans de l’inertie physique. Dans cette étude systématique, elle rencontra devant elle un nombre de corps si prodigieux que la classification devant son premier souci : elle dut chercher à faire rentrer tous ces corps dans certains moules, créer des familles, des types, et construire en quelque sorte idéalement l’édifice chimique. Deux idées dominantes servirent de guides aux savans au milieu de ce dédale. Ils cherchèrent à rattacher les lois de la classification au rôle prépondérant que joue l’oxygène ou l’élément comburant dans les combinaisons des corps ; en second lieu, ils découvrirent que dans les composés organiques on peut extraire une à une les molécules d’un corps simple pour y substituer les molécules d’un autre corps simple ou même d’un radical composé. L’*échelle de combustion*, la loi des substitutions, *devinrent les bases de la doctrine scientifique*.

Sur le premier point, voici ce qu’écrivait Gerhardt, le chimiste éminent dont la science déplore la mort récente et prématurée : « Les deux extrémités sont occupées d’une part, au sommet, par la matière cérébrale, l’albumine, la fibrine et les autres substances plus complexes, et d’autre part, au pied, par l’acide carbonique, l’eau et l’ammoniaque… Une infinité d’échelons occupent l’intervalle… Le chimiste, en appliquant les réactifs de combustion aux substances placées dans les échelons supérieurs, descend l’échelle, c’est-à-dire qu’il simplifie peu à peu ces substances en brûlant successivement une partie de leur carbone et de leur hydrogène. » La loi des

substitutions, due à M. Dumas, donna une nouvelle élasticité aux formules de la classification. Laurent la développa avec ardeur, et se laissa ainsi entraîner aux théories les plus hasardées[2]. C'est surtout à lui qu'on peut appliquer ce jugement sévère de M. Berthelot : « Presque tous les systèmes construits depuis vingt-cinq ans présentent ce caractère commun et singulier d'être fondés à peu près exclusivement sur la combinaison des signes et des formules. Ce sont des théories de langage et non des théories de faits. Aussi il arrive bien souvent aux chimistes de prendre les propriétés des nombres cachées dans leurs formules pour les propriétés mystérieuses des êtres véritables : illusion analogue à celle des pythagoriciens, mais peut-être moins justifiée par la nature des sciences expérimentales. »

Les formules chimiques indiquent pour ainsi dire en bloc la composition des corps : elles donnent, pour un composé organique, le nombre des atomes de carbone, d'oxygène, d'hydrogène et d'azote ; elles n'apprennent rien sur la manière dont ces atomes se trouvent groupés. Sur ce point, le chimiste peut spéculer à l'aise et combiner les atomes de la façon qui lui paraît répondre le mieux aux affinités qui se révèlent lorsque le corps se décompose ou se trouve en contact avec d'autres substances. Ce travail nouveau a un grand intérêt, car il ne tend à rien moins qu'à représenter par de purs symboles les propriétés mêmes de la matière ; mais on conçoit aisément que la liberté d'interprétation appliquée par chacun à résoudre le problème selon ses vues propres peut jeter dans la science une véritable confusion.

M. Berthelot s'est fait l'organe de la réaction contre ce

système : convaincu que l’analyse ne pouvait à elle seule éclaircir les points les plus fondamentaux de la chimie rationnelle, puisqu’elle ne juge des corps, comme on l’a dit, qu’après qu’ils n’existent plus, il chercha dans la synthèse un nouveau moyen de pénétrer plus profondément dans les relations générales qui président aux affinités naturelles. Cette tentative avait plus d’un genre d’utilité. Si elle réussissait, elle permettait de donner à l’enseignement de la chimie organique la forme propre à toutes les autres sciences, qui procèdent du simple au composé, tandis que jusque-là on avait suivi la marche contraire. Servant en quelque sorte de contre-épreuve à l’analyse, elle devait en corroborer les résultats et les éclairer d’une lumière nouvelle. Enfin, chose plus importante, elle devait ouvrir à l’expérimentation des voies encore inexplorées, et faire mieux connaître la nature des forces qui sont en jeu dans la matière organisée. Pendant longtemps, la science avait admis une distinction fondamentale, au point de vue de la synthèse, entre les substances minérales et les principes immédiats organiques ; tandis que l’on composait les premiers de toutes pièces en combinant les élémens que l’analyse y avait reconnus, on supposait que la formation des seconds ne dépendait pas seulement du jeu des affinités chimiques, mais exigeait encore l’intervention de forces dont l’homme ne peut disposer. On avait, il est bien vrai, réussi à produire quelques substances analogues aux principes organiques, et pourtant Berzelius cherchait à atténuer la portée de ces expériences en faisant remarquer que ces substances étaient « placées sur la limite extrême entre la composition organique et la composition inorganique. » De ce nombre était l’urée, produite artificiellement par un des premiers chimistes de l’Allemagne,

M. Wöhler, en 1828. Les chimistes avaient également composé de toutes pièces un assez grand nombre d'alcalis organiques ; mais ces recherches avaient toujours porté sur des corps qui empruntent un grand nombre de leurs propriétés fondamentales aux élémens minéraux qui ont servi à les produire. La synthèse n'avait pas pénétré dans le domaine entier de la chimie organique, et en 1844 Gerhardt pensait encore que la formation au sein des organismes vivans de ces substances où toutes les propriétés fondamentales des corps simples composans sont entièrement dissimulées tenait « à l'action mystérieuse de la force vitale, action opposée, en lutte continuelle avec celles que nous sommes habitués à regarder comme la cause des phénomènes chimiques ordinaires. »

Depuis dix ans, les travaux de M. Berthelot ont prouvé que la synthèse peut s'appliquer avec succès à la formation artificielle des corps qui sont en quelque sorte les espèces les plus caractéristiques du monde organique. De quelle façon pouvons-nous donc reconstruire l'édifice abattu par la décomposition et l'analyse ? Commençons par les termes les plus simples, les carbures d'hydrogène. L'un de ces composés binaires appartient encore au monde minéral : c'est le gaz qui s'échappe des marais, au fond desquels des matières végétales se décomposent lentement. Contenu dans les anciennes forêts aujourd'hui converties en couches de houille, il produit, sous le nom de grisou, les dangereuses explosions des mines. Jusqu'ici, ce composé de carbone et d'hydrogène, comme un grand nombre d'autres carbures qui ne se trouvent pas isolés dans la nature, n'avait été obtenu dans les laboratoires que parmi les produits de la décomposition de corps organiques

plus complexes. M. Berthelot en a reproduit un assez grand nombre artificiellement avec les seuls élémens de l'eau et de l'acide carbonique, corps qui appartiennent à la nature inorganique.

Le point de départ de la synthèse ainsi assuré, il restait à remonter des carbures d'hydrogène aux composés oxygénés, en renversant l'ordre habituel de la production de ces carbures mêmes. Ce second échelon nous mène aux alcools et aux nombreux corps qui en dérivent. On désigne sous le nom générique d'alcool tout composé ternaire de carbone, d'hydrogène et d'oxygène propre à s'unir à un acide en abandonnant de l'eau, et à former ainsi un composé ternaire neutre, nommé éther, qui ne ressemble pas aux sels ordinaires de la chimie minérale, parce qu'il n'obéit pas aux mêmes lois de décomposition. « Les allures spéciales des alcools et des éthers, dit avec raison M. Berthelot, ne permettent de les assimiler à aucune catégorie de composés minéraux : ils constituent un groupe distinct, et représentent, au même titre que les acides, les bases et les sels, une fonction chimique déterminée. Cette fonction est spéciale à la chimie organique. À ce point de vue, la synthèse des alcools au moyen des élémens est tout à fait indispensable, et elle est en même temps décisive. » Cette synthèse a été obtenue par M. Berthelot en partant des composés binaires ; les carbures d'hydrogène et les alcools une fois obtenus artificiellement, rien n'est plus facile que d'en extraire, par les ressources ordinaires, ce nombre presque infini de combinaisons qui en dérivent, et qui remplissent les vastes cadres de la chimie organique. Enfin le savant chimiste a été assez heureux pour obtenir la synthèse

des corps gras composés, dont l'étude forme en quelque sorte une nouvelle chimie organique « plus vaste encore que celle des matières volatiles, infiniment plus délicate, plus importante peut-être en raison de ses applications physiologiques. » Pour les obtenir artificiellement, il a fallu imaginer des méthodes qui permissent d'unir la glycérine aux divers acides gras ; enfin, poussant encore plus loin ses investigations, M. Berthelot a étudié au même point de vue les composés susceptibles d'être obtenus à l'aide de diverses matières sucrées qui jouent un rôle semblable à celui de la glycérine. Il a fait rentrer toutes ces combinaisons dans une théorie générale, où les corps gras ordinaires et les sucres deviennent le point de départ d'une infinité de substances que la synthèse peut produire en vertu de certaines lois. C'est par centaines de millions qu'on peut compter ces corps artificiels *possibles*, dont la nature n'a réalisé qu'un certain nombre, mais que la science peut multiplier en quelque sorte indéfiniment !

Le domaine de la chimie organique s'agrandit ainsi à mesure que l'on connaît mieux les fonctions-de ces composés-types, carbures d'hydrogène, alcools ordinaires, matières sucrées, corps gras, et pourtant, après avoir parcouru une telle carrière, on voit s'ouvrir des horizons encore plus vastes : la synthèse n'a pas touché jusqu'ici aux essences, aux matières colorantes, aux substances albuminoïdes, dont l'étude est pleine d'obscurités. Ce sont autant de mondes nouveaux qui attendent un explorateur. Lorsqu'on aura découvert, en joignant les efforts de la synthèse à ceux de l'analyse, le rôle de ces composés, leur fonction chimique en quelque sorte, il deviendra facile de multiplier à l'infini le nombre des

substances organiques qui s’y rattachent. M. Berthelot est encore assez jeune pour qu’il soit permis d’espérer qu’il pourra lui-même aborder ces délicates études après avoir déjà enrichi d’une manière si inespérée les parties de la science vers lesquelles il a tourné son esprit philosophique et créateur.

Résumant ses laborieux travaux, le savant chimiste avait acquis le droit d’écrire : « La synthèse étend ainsi ses conquêtes, depuis les élémens jusqu’au domaine des substances les plus compliquées, sans que l’on puisse assigner de limite à ses progrès. En effet ; si l’on envisage par la pensée la multitude presque infinie des composés organiques depuis les corps que l’art sait reproduire, tels que les carbures, les alcools et leurs dérivés, jusqu’à ceux qui n’existent encore que dans la nature, tels que les matières sucrées et les principes azotés d’origine animale, on passe d’un terme à l’autre par des degrés insensibles, et l’on n’aperçoit plus de barrière absolue et tranchée que l’on puisse redouter avec quelque apparence de certitude de trouver infranchissable. »

II

Après avoir montré par quelle série de découvertes la science est arrivée à constituer sa doctrine, il faut examiner cette doctrine elle-même dans ses caractères les plus généraux, les plus philosophiques, et dans ses rapports avec le problème physiologique de l’être.

La chimie organique a aujourd’hui les mêmes bases que la chimie minérale. Il est démontré que l’on peut reproduire artificiellement, en mettant en jeu les seules affinités

chimiques, les principes immédiats qui se forment dans les êtres vivans. L’analogie la plus stricte permet donc de croire que ces principes n’y prennent naissance que par l’action des mêmes affinités, sans qu’il soit nécessaire de faire intervenir une force hypothétique attachée en quelque sorte à ce que nous appelons la vie. Au point de vue physiologique, et je dirai même philosophique, c’est là un résultat d’une importance capitale. Quel chimiste aurait cru, il y a cinquante ans, que, prenant pour point de départ les élémens de l’eau et ceux de l’air, l’acide carbonique, l’azote et l’oxygène, il deviendrait possible de composer artificiellement les alcools, substances qui n’ont point d’analogues dans la chimie minérale, les éthers, les principes odorans des fruits, les essences irritantes de l’ail, de la moutarde, les matières cireuses connues sous les noms de blanc de baleine et de cire de Chine, la cire d’abeilles, les alcalis végétaux analogues à la morphine, la quinine, la nicotine, les principes odorans de la menthe et des essences amères, le camphre ordinaire, les essences de reine-des-prés, de cannelle, de cumin, de girofle et d’anis, les acides des fourmis, du vinaigre, du beurre, de la valériane, plusieurs acides gras, l’acide du benjoin, l’acide du lait aigri, ceux de l’oseille, du succin, etc., l’urée, qui se rencontre dans les excrétions des animaux supérieurs, la taurine, matière azotée contenue dans la bile, le sucre de gélatine et la leucine, répandus dans les tissus des animaux, l’acide hippurique, qu’on trouve dans l’urine des herbivores ? Le chimiste crée toutes ces substances à volonté. S’il ne peut fixer dans ses cornues et ses instrumens le principe vital, il peut y composer les matériaux, nécessaires à l’être vivant, et créer au gré de son caprice un monde nouveau de principes immédiats que nous ne

rencontrons dans aucun des organismes connus, et qui demeurent entre ses mains comme les élémens en quelque sorte d’autres êtres possibles et virtuels.

L’identité des forces qui concourent à la formation des principes immédiats et des corps inorganiques est une découverte si importante que M. Berthelot y revient sans cesse, et il est impossible de mieux faire que de citer encore une fois ses propres paroles : « Tout, dit-il, avait concouru à faire regarder par la plupart des esprits la barrière entre les deux chimies comme infranchissable. Pour expliquer notre impuissance, on tirait une raison spécieuse de l’intervention de la force vitale, seule apte jusque-là à composer des substances organiques. C’était, disait-on, une force particulière qui résidait dans la nature vivante, et qui triomphait des forces moléculaires propres aux élémens de la matière inorganique. L’on ajoutait : « C’est cette force mystérieuse qui détermine exclusivement les phénomènes chimiques observés dans les êtres vivans ; elle agit en vertu de lois essentiellement distinctes de celles qui règlent les mouvemens de la matière purement mobile et quiescible. Elle imprime à celle-ci des états d’équilibre particuliers, et qu’elle peut seule maintenir, car ils sont incompatibles avec le jeu des affinités minérales. » Telle était l’explication au moyen de laquelle on justifiait l’imperfection de la chimie organique, et on la déclarait pour ainsi dire sans remède.

« En proclamant ainsi notre impuissance absolue dans la production des matières organiques, deux choses avaient été confondues : la formation des substances chimiques dont l’assemblage constitue les êtres organisés, et la formation des

organes eux-mêmes. Ce dernier problème n’est point du domaine de la chimie. Jamais le chimiste ne prétendra former dans son laboratoire une feuille, un fruit, un muscle, un organe. Ce sont là des questions qui relèvent de la physiologie ; c’est à elle qu’il appartient d’en discuter les termes, de dévoiler les lois du développement des êtres vivans tout entiers, sans lesquels aucun organe isolé n’aurait ni sa raison d’être, ni le milieu nécessaire à sa formation. Mais ce que la chimie ne peut faire dans l’ordre de l’organisation, elle peut l’entreprendre dans la fabrication des substances renfermées dans les êtres vivans. Si la structure même des végétaux et des animaux échappe à ses applications, elle a le droit de prétendre à former les principes immédiats, c’est-à-dire les matériaux chimiques qui constituent les organes, indépendamment de la structure spéciale en fibres et en cellules que ces matériaux affectent dans les animaux et dans les végétaux. Cette formation même et l’explication des métamorphoses pondérales que la matière éprouve dans les êtres vivans constituent un champ assez vaste, assez beau ; la synthèse chimique doit le revendiquer tout entier. »

Ce remarquable extrait montre avec une grande netteté quel est le rôle véritable de la chimie organique : elle étudie et compose seulement les matériaux de la vie, sans s’occuper de l’être vivant lui-même ; elle broie les couleurs du tableau, mais il faut une autre main pour employer ces couleurs et pour créer l’œuvre où elles se fondent en une harmonieuse unité. Laissons les sciences choisir leur objet et librement délimiter le champ de leurs investigations ; l’esprit humain ne connaît pas de

limites semblables, et sa curiosité veut embrasser le monde sous toutes ses faces. En réfléchissant aux phénomènes que présente la nature organique, il est invinciblement poussé à se faire cette question : Ces phénomènes sont-ils régis par les mêmes lois que le monde inerte, ou bien y a-t-il sous ces mouvemens spontanés, sous ces métamorphoses rapides, une cause spéciale, un moteur particulier ? Par l’organe de M. Berthelot, la chimie organique nous déclare qu’en ce qui concerne les principes immédiats des êtres vivans, il faut renoncer à l’attrait de l’inconnu ; ce qui compose le végétal, ce qui est la substance de l’animal sort de l’abîme inorganique par l’effet de lois chimiques certaines, connues, dont l’homme peut lui-même diriger l’emploi.

Est-ce assez d’admettre l’action simultanée de forces physiques et chimiques pour expliquer les transformations qui s’opèrent dans l’être vivant ? Pénétrons un peu plus avant dans le problème. Toutes les synthèses que M. Berthelot a été assez heureux pour produire démontrent d’une façon péremptoire que l’affinité chimique suffit à construire ces substances diverses que le savant nomme principes immédiats, et qu’il retrouve dans la nature organisée avec une structure spéciale, mais avec une composition identique à celle des êtres artificiels qu’il produit. Cependant il est une idée inséparable de la notion même de l’être, sur laquelle se porte l’esprit aussitôt qu’il est question des phénomènes de l’organisation : c’est l’idée de développement, c’est la loi de succession en vertu de laquelle les êtres vivans ne sont pas seulement dépendans des forces matérielles ordinaires, mais encore du temps. Ils ne demeurent pas identiques à eux-mêmes comme la pierre ou le minéral,

mais ils traversent des phases diverses ; durant chacune de ces métamorphoses, on peut, par une analyse délicate, arriver à découvrir à chaque instant les forces qui se trouvent en jeu. Seulement la loi générale de ces métamorphoses, où la chercher ?

Pour répondre à cette question d'une importance vraiment capitale, il faut apprendre sous quelles influences les forces chimiques inhérentes à toute molécule matérielle sont sollicitées à agir dans l'être vivant. Le phénomène capable de jeter le plus de lumière sur ces réactions subtiles est celui qu'on connaît sous le nom de *fermentation*. L'existence, pourrait-on presque dire par une métaphore hardie, n'est qu'une longue fermentation ; depuis longtemps, on a comme le pressentiment que les actions que nous comprenons sous cette dénomination générale servent de lien entre les réactions chimiques ordinaires et les phénomènes vitaux. Il y a en effet dans une fermentation tout un petit drame chimique qui est comme une image affaiblie et atténuée de la vie ; on peut y distinguer un commencement, un *maximum* d'activité, et une fin. Sans s'arrêter à d'aussi vagues comparaisons, on peut retrouver dans les fonctions particulières des organes vivans quelque chose qui rappelle entièrement les fermentations ordinaires.

L'affinité chimique, s'exerçant dans le règne organique sur un très petit nombre d'élémens, peut, en multipliant à l'infini les combinaisons atomiques, donner naissance à une multitude de corps ; mais ces substances se distinguent en général de celles du règne inorganique par leur instabilité. Les molécules s'y groupent en formant des édifices dont l'équilibre se

dérange ou se modifie sous les influences les plus légères. Ces altérations peuvent être produites de diverses façons par des agens chimiques et par des agens physiques. Une température élevée détruit toutes les substances organiques ; les principes sucrés sont décomposés avant 200 degrés, quelquefois même au-dessous de 100 degrés, et les substances albuminoïdes sont encore beaucoup moins stables. À partir de 300 degrés, la plupart des composés organiques un peu complexes commencent à se dédoubler et à se résoudre en substances d'une composition plus simple. La chaleur n'opère pas seule ces métamorphoses : certaines substances sont douées de la propriété de les provoquer et de modifier profondément la composition des milieux organiques où elles se trouvent placées ; ce sont les *fermens*. Ce qui les caractérise, c'est qu'ils agissent sous un volume et un poids très faible, et semblent ne pas intervenir chimiquement, c'est-à-dire par leurs propres élémens, dans les phénomènes qu'ils déterminent. De tout temps, le rôle particulier des fermens a été connu ; le levain nécessaire à la fabrication du pain n'est autre chose qu'un ferment.

Les fermens sont tous constitués par des substances quaternaires, c'est-à-dire composés des quatre élémens organiques : oxygène, hydrogène, carbone et azote ; ce sont des matières d'origine animale ou végétale, susceptibles d'éprouver la décomposition spontanée qu'on nomme quelquefois *putréfaction*. Pour faire comprendre l'importance des fermens, il suffira de dire qu'ils interviennent non-seulement dans le phénomène de la mort ou de la décomposition des organismes vivans, mais encore dans tous

les actes de la vitalité.

Dans le règne végétal, la germination peut être assimilée à un acte de fermentation. La graine renferme une matière azotée qui, dans des circonstances particulières d'humidité, de chaleur et d'affluence de l'air, agit sur les autres parties du germe : les fonctions végétales se distribuent et se régularisent par degrés, grâce aux métamorphoses accomplies par le ferment, et la plante commence à vivre. Les phénomènes de maturation des fruits sont dus également à la présence d'un ferment. Enfin la transformation suprême du végétal, alors qu'il se détruit et que les organes sont usés, s'accomplit encore sous l'influence des matières fermentescibles. Dans le règne animal, la complication des phénomènes vitaux est plus grande ; mais il n'est pas douteux que la putréfaction cadavérique, la digestion, la dissolution des alimens amylacés par la salive et les liquides intestinaux, l'action du suc du pancréas sur les corps gras, du suc gastrique sur les alimens azotés, enfin les redoutables métamorphoses opérées par les venins, les miasmes, les virus de toute espèce, ne soient en réalité des fermentations plus ou moins complexes. On ne saurait donc exagérer l'importance d'un phénomène qui embrasse tous les actes physiologiques, depuis la fécondation même des germes jusqu'au retour aux élémens primitifs ou à ce qu'on pourrait appeler la deuxième mort, en distinguant le moment où s'arrête le mouvement des organismes de cette période postérieure où les organismes eux-mêmes disparaissent, où tout ce qui compose le cadavre fait retour à la matière brute.

Je le dirai tout de suite : on peut considérer la fermentation comme un phénomène produit par l'action vitale, ou bien

comme un simple phénomène chimique. M. Berthelot adopte ce second point de vue. « *Bannir la vie* de toutes les explications relatives à la chimie organique, écrit-il, tel est le but de nos études. C'est ainsi seulement que nous réussirons à constituer une science complète et subsistant par elle-même, c'est-à-dire telle qu'elle doit être pour concourir efficacement à l'intelligence des phénomènes physiologiques et à leur reproduction. Il est d'autant plus important de chercher à atteindre ces résultats, que les fermentations ont été toujours envisagées comme des phénomènes intermédiaires entre les actions chimiques et les actions vitales. De l'aveu de tout le monde, elles représentent l'un des mécanismes fondamentaux auxquels on doit recourir dans l'interprétation des métamorphoses chimiques qui s'effectuent au sein des êtres organisés. Aussi paraît-il nécessaire de rendre la notion de ce mécanisme indépendante de la vie elle-même et de la concevoir d'une manière aussi abstraite que possible, en la déterminant d'une manière exclusive par ses caractères les plus généraux. »

Quelle est cette notion abstraite et générale dont parle M. Berthelot ? De quelle manière concevoir les phénomènes de la fermentation sans les faire sortir du cercle habituel des phénomènes chimiques ? C'est en les assimilant à ce que l'on nomme d'ordinaire les actions de *contact* ou de *présence*. Ces mots demandent une explication : la présence du platine très divisé, nommé quelquefois noir de platine, provoque les effets d'oxydation les plus variés, détermine la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène, même à la température ordinaire, celle de l'oxygène et de l'ammoniaque, la transformation de

l’alcool et de l’éther en produits différens. Le platine n’agit pas chimiquement, en ce sens qu’il ne se combine avec aucun ides corps qui entrent ainsi en jeu ; il sert seulement d’excitant passif aux affinités. Le platine ne jouit pas seul de telles propriétés : l’or, l’argent, beaucoup de métaux et de corps solides les partagent à un moindre degré. La pierre ponce accélère par sa présence la combinaison de certains gaz. M. Berthelot pense que ces phénomènes ne doivent pas être attribués à une condensation des gaz, et notamment de l’oxygène, dans les pores des substances dont je viens de parler, car on peut comprimer un mélange d’oxygène et d’hydrogène jusqu’à cent cinquante atmosphères sans en déterminer la combinaison, pourvu que la compression ne soit pas trop brusque. La chimie a constaté d’ailleurs une foule de cas où une substance agit par le fait seul de sa présence, non plus seulement en provoquant des combinaisons, mais en devenant l’agent d’une décomposition ; d’autres fois cette substance produit dans les corps avec lesquels elle se trouve en contact, au lieu d’une altération chimique, une simple modification dans la structure physique. Le soufre, sous ce rapport, fournit des exemples curieux que M. Berthelot a spécialement étudiés. Ce corps jouit de la propriété de posséder diverses structures, et appartient ainsi à la catégorie des substances *isomères*, c’est-à-dire formées des mêmes élémens, bien que distinctes par les propriétés tant physiques que chimiques. Le soufre passe de l’un de ces états à l’autre sous la simple influence de l’acide nitrique, ou bien des alcalis et du gaz hydrogène sulfuré. Ces corps n’agissent point sur le soufre par leurs affinités immédiates, puisque celui-ci reste inattaqué et n’entre pas en combinaison.

Comment peut-on rendre compte d'un phénomène aussi singulier ? M. Berthelot risque une explication, et pense que si les alunites du corps qui agit par sa présence n'entrent pas en jeu, les réactions auxquelles il sert de stimulant sont dues cependant à ces affinités. Seulement, au lieu de s'exercer immédiatement, elles demeurent à l'état *virtuel*. Cette virtualité seule serait, suivant lui, une force suffisante pour ébranler les équilibres atomiques des substances environnantes. Cette explication est presque aussi métaphysique que scientifique, et l'on a quelque peine à comprendre le rôle attribué à des affinités qu'on pourrait comparer à des acteurs qui demeurent derrière le rideau. Pour mieux l'expliquer, M. Berthelot a recours à de véritables finesses de langage : « Ce qui semble produire les actions mises en jeu par des corps aussi énergiques, c'est une certaine tendance à la combinaison, une sorte d'affinité prédisposante, développée sous leur influence, et qui dépend de quelque relation entre la fonction chimique des corps modificateurs et celle des corps modifiés. Cette relation paraît déterminer entre l'agent modificateur et la substance qui se modifie un véritable antagonisme d'affinités, d'où résultent les métamorphoses ou les réactions que la substance modifiée est susceptible d'éprouver. »

Si des actions de contact ou de présence nous passons aux fermentations véritables, l'explication de M. Berthelot demeure la même ; cette fois encore il n'est question que de *tendance à la combinaison*, d'*affinité prédisposante*. La force chimique seule intervient, à l'exclusion des forces vitales ; toutefois cette force, au lieu d'agir avec la simplicité qui en marque l'action dans le règne minéral, se voile et devient plus

difficile à saisir. Pour justifier cette assertion, comparons le phénomène de la germination dans les plantes à ceux que le chimiste peut reproduire dans son laboratoire ; mettons en regard la série des métamorphoses naturelles et celle des métamorphoses artificielles. Qu'observons-nous d'une part ? La graine renferme à la fois une matière amylacée, l'*amidon*, et un ferment azoté, la *diastase*. Sous l'influence de ce dernier, l'amidon se change en dextrine, substance isomère, qui à la même composition chimique ; enfin la dextrine s'assimile les élémens de l'eau et devient de la glucose ou sucre de raisin. Voilà par quel mécanisme le sucre prend naissance dans les graines en germination. Or le chimiste reproduit dans ses appareils les phénomènes délicats qui s'opèrent dans les organes des plantes : il prend de l'amidon, le délaie dans l'eau et y ajoute de la diastase, qu'il a extraite de l'orge germée, il chauffe ce mélange à une température peu élevée, et bientôt l'amidon se dissout en dextrine, et celle-ci se change progressivement en glucose. Il n'est pas même besoin, pour opérer cette transformation, d'emprunter le ferment azoté à un végétal ; on peut l'obtenir à l'aide d'un acide, qui, par le simple contact et sans s'unir à l'amidon, sans céder aucun de ses élémens, convertit l'amidon en dextrine et en glucose à la température de 100 degrés.

Le chimiste imite donc exactement tout ce qui se passe dans les plantés en germination, dans le foie même des animaux, peut-on ajouter, car M. Claude Bernard a montré que cet organe est le siège d'une véritable saccharification ; mais tous les phénomènes de fermentation ne sont pas aussi aisés à imiter. Ces effets dans la germination sont assez simples,

puisqu'ils consistent en une simple isomérie et dans une hydratation. Examinons les cas où les métamorphoses sont plus profondes, et prenons pour exemple la fermentation alcoolique, c'est-à-dire la transformation d'une matière sucrée en alcool. Cette opération sert de base à la fabrication des liquides que presque tous les peuples emploient comme boisson. Le jus du raisin, celui de l'érable ou du palmier, la bière fabriquée avec l'orge germée, le cidre obtenu avec des pommes, l'hydromel, le lait aigri des Tartares, doivent leurs propriétés enivrantes à l'alcool, et cette substance s'y forme par la fermentation d'une matière sucrée.

Le phénomène de la fermentation alcoolique peut être observé très nettement dans la réaction de la levure de bière sur la glucose ou le sucre de raisin ordinaire. On dissout de la glucose dans l'eau, et on y ajoute environ un cinquantième de son poids de levure de bière ; la température est maintenue à 30 degrés environ. Bientôt la glucose commence à se décomposer en alcool et en acide carbonique, qui se dégage en petites bulles. Le mouvement cesse quand tout le sucre a disparu, après un intervalle qui peut varier de vingt-quatre à trente-six heures. Quelles sont les propriétés du ferment dont l'action est si puissante ? . Observée au microscope, la levure de bière paraît formée de petits globules un peu allongés, dont le diamètre varie entre un cinquantième et un centième de millimètre. Ces globules sont des cellules organisées, et sont constitués par une espèce de cryptogames ; placés dans, le liquide sucré, ils y excitent la fermentation, mais ils bourgeonnent en même temps et se multiplient. De nouveaux globules se posent à côté des premiers, et grossissent en

formant des rameaux de plus en plus étendus.

La levure est donc un être organisé : chimiquement, elle est constituée par le mélange d'un corps azoté albuminoïde et d'un principe identique à la matière ligneuse du bois ; elle contient de plus des traces de phosphates et de matière grasse. La fermentation alcoolique est hâtée et rendue facile par l'addition directe de la levure de bière ; mais elle s'opère aussi dans les liquides sucrés sous l'influence d'autres matières azotées, lorsque ces substances sont favorables à la production spontanée de la levure et en contiennent les élémens. C'est ainsi que le jus sucré du raisin, clair au moment où on l'exprime, se trouble au contact de l'air et se convertit en alcool, tandis que les matières azotées contenues dans les enveloppes du grain donnent naissance sucrée des matières azotées analogues à l'albumine, certains phosphates et une trace impondérable de levure, celle-ci se développe en empruntant ses matériaux aux substances environnantes ; il n'est pas même nécessaire que ces dernières à la levure, qui se sépare sous forme de dépôt et de pellicule insoluble. Lorsqu'on ajoute à une dissolution soient d'origine organique, il suffît qu'elles contiennent de l'azote : aussi le phénomène se produit encore, M. Pasteur l'a prouvé, lorsqu'on remplace les matières albuminoïdes par des sels ammoniacaux. Chose étrange, l'albumine d'œuf proprement dite est au contraire impropre à fournir les matériaux de la levure.

La naissance et la multiplication de la levure ont fourni des argument aux partisans de la génération spontanée. Il paraît aujourd'hui démontré, surtout par les expériences de M. Pasteur, que ces phénomènes doivent être attribués au concours

de l’atmosphère, dont les poussières sont mélangées des semences de cryptogames de même ordre que ceux de la levure. En effet, la fermentation ne se développe pas dans les jus végétaux que l’on fait bouillir de façon à détruire tous les germes qu’y laisse tomber l’atmosphère. Le phénomène n’a pas lieu quand ces liquides sont contenus dans des vases où l’air ne peut pénétrer ou bien ne pénètre qu’après avoir été soumis à une température assez élevée pour annihiler les semences et les œufs. Enfin, en tamisant l’air dans un long tube rempli de coton qui retient toutes les particules solides, on arrive au même résultat négatif, et pour peu qu’on place le coton, ainsi enrichi de semences, dans le jus fermentescible, les métamorphoses ordinaires commencent aussitôt. On est allé jusqu’à étudier, à l’aide du microscope, les spores capables de provoquer la fermentation et ceux qui ne la produisent pas. Ces ingénieuses expériences ont jeté une grande lumière sur les circonstances qui facilitent la fermentation.

Si les conditions du phénomène sont nettement connues, l’explication se fait attendre encore. Suivant certains chimistes, les germes vivans se nourrissent du liquide où ils se trouvent jetés, et, en accomplissant cet acte physiologique, modifient nécessairement la composition du milieu où ils sont placés. En s’emparant de certains élémens, ils forcent les autres élémens à se grouper d’une nouvelle manière. D’après ce point de vue, la fermentation opérée sous l’influence des êtres vivans serait un véritable acte *physiologique* en corrélation immédiate avec un phénomène de nutrition. M. Berthelot repousse cette manière de voir : pour lui, le cryptogame vivant n’agit pas directement sur ce qui fermente, mais seulement par l’intermédiaire des

fermens solubles qu’il a la propriété de sécréter, et ces fermens solubles déterminent une action de contact ordinaire. L’être animé n’apparaît que comme le récepteur, le véhicule de la substance chimique agissante. Cette théorie, fondée sur la sécrétion des fermens, ne peut être acceptée sans restriction : si elle a l’avantage de rattacher les fermentations aux actions de contact ordinaire, elle a l’inconvénient de reposer sur une pure hypothèse ; elle a été inspirée par cette préoccupation qui se révèle dans tout l’ouvrage du savant chimiste, et qui consiste à rejeter les forces vitales en dehors du domaine de la science.

C’est cette tentative qui donne à l’œuvre de M. Berthelot un caractère d’unité vraiment philosophique. Les synthèses opérées systématiquement et avec tant de succès par le jeune chimiste dont j’ai analysé les travaux ont montré que l’abîme, qu’on avait si longtemps laissé ouvert entre la chimie minérale et la chimie organique pouvait être comblé, que les élémens et les forces purement chimiques prêtent un secours suffisant pour construire une multitude de substances que nous rencontrons dans la nature organisée. Plus féconde même que la nature, qui se borne à un nombre de combinaisons restreint, la science peut les multiplier à l’infini. « La chimie crée son objet, dit avec raison M. Berthelot. Cette faculté créatrice, semblable à celle de l’art lui-même, la distingue essentiellement des sciences naturelles et historiques. Les dernières ont un objet donné d’avance, et indépendant de la volonté et de l’action du savant ; les relations générales qu’elles peuvent entrevoir ou établir reposent sur des inductions plus ou moins vraisemblables, parfois même sur de simples conjectures dont il est impossible de poursuivre la

réalisation au-delà du domaine extérieur des phénomènes observés… Au contraire, les sciences expérimentales ont le pouvoir de réaliser leurs conjectures. Ce qu’elles ont rêvé, elles le réalisent en acte. Les types conçus par le savant, s’il ne s’est point trompé, sont les types mêmes des existences. Son objet n’est point idéal, mais réel… La chimie possède cette faculté créatrice à un degré plus éminent encore que les autres sciences, parce qu’elle pénètre plus profondément et atteint jusqu’aux élémens naturels des êtres. Non-seulement elle crée des phénomènes, mais elle à la puissance de refaire tout ce qu’elle a détruit ; elle a même la puissance de former une multitude d’êtres artificiels, semblables aux êtres naturels, et participant de toutes les propriétés de ceux-ci. Ces êtres artificiels sont les images réalisées des lois abstraites dont elle poursuit la connaissance. » On le voit, si l’enthousiasme manque quelquefois aux savans, on ne fera point un tel reproche à M. Berthelot. Il a conçu de sa science une si haute idée, qu’elle devient pour lui plus grande que la nature elle-même, et comprend à la fois le monde véritable et un monde artificiel que l’homme peut évoquer à son gré.

Après avoir montré que l’édifice des combinaisons peut être construit à l’aide des seules forces chimiques, M. Berthelot s’attache encore à démontrer que le jeu de ces forces suffit à expliquer toutes les métamorphoses de la substance organisée : décompositions, germinations, nutrition des animaux, fermentations de tout genre, tout doit trouver son explication dans de simples réactions, qui font succéder un équilibre atomique à un autre équilibre atomique. La vie n’apparaît plus nulle part, on l’a bannie ; l’être vivant n’est plus qu’un

alambic ; les affinités y opèrent avec la même énergie, de la même façon que dans le monde minéral ; l’acide y cherche la base, et les groupemens s’y opèrent au gré des mêmes forces qui fixent le minéral sur la paroi d’un filon, ou qui précipitent certains sels au fond des eaux. La chimie organique ne se préoccupe, il est vrai, que de la composition des principes immédiats ; elle ne cherche pas à pénétrer les lois en vertu desquelles ces derniers s’associent et se combinent pour former l’être vivant, elle ne s’inquiète même pas de ce qui, dans l’organisme, imprime au principe immédiat une structure, une forme particulière. Arrivée à ce point, elle laisse à la physiologie le soin de pénétrer plus avant dans les mystères de l’organisation ; mais n’est-ce pas beaucoup déjà que d’avoir fourni la théorie à peu près complète des principes immédiats, puisque ceux-ci sont les matériaux nécessaires de la vie ?

Je crains que la doctrine que j’ai exposée, et qui, sous la plume de M. Berthelot, revêt la forme la plus arrêtée, ne paraisse à beaucoup d’esprits capable de fournir des argumens nouveaux à une philosophie matérialiste. L’idée de la vie n’est pas très éloignée de l’idée de l’âme, et la philosophie chimique, qui tend à la rejeter comme inutile, peut sembler dangereuse à ceux qui ne séparent pas très nettement la vie de la personnalité, de la sensibilité, de la spontanéité, attributs essentiels de l’être. Lorsqu’on a fait voir que l’animal vivant n’est qu’un vase à réactions, que les forces chimiques et physiques s’y livrent un perpétuel combat en champ clos, lorsqu’on a montré que les phénomènes de la fécondation, ceux de la nutrition, la mort elle-même, ne sont que des fermentations ordinaires, on ne sait bientôt plus où chercher le

siège de ces forces plus mystérieuses qui se nomment la volonté, le désir, l’instinct, et, quand on arrive à l’homme, la conscience. Ne serions-nous en effet que des laboratoires, des microcosmes chimiques et physiques, où la matière essaie ses combinaisons les plus délicates, mais aussi les plus transitoires ? L’âme, la volonté, la vie elle-même, ne seraient-elles que des mots sans réalité que nous plaçons derrière les phénomènes dont l’explication rigoureuse nous échappe ? Aux savans qui le prétendent, on pourrait appliquer dans un sens nouveau le mot célèbre : *Omnia serviliter pro dominatione*. C’est pour assurer la suprématie de la science, pour l’arracher au joug de la philosophie, de l’idéologie, qu’ils consentent à faire de l’homme l’esclave docile, le jouet misérable des forces qui meuvent et transforment le monde inorganique. Ils abaissent une à une toutes les barrières que notre orgueil a placées entre nous et le reste de l’univers ; ils nous montrent l’abîme inorganique en disant : « Vous êtes sortis de là, et vous y rentrerez tout entiers. » Je connais, pour l’avoir observée de près, cette sorte d’ivresse qui entraîne certains esprits. Profondément amoureux du vrai, ils sentent le besoin de briser toutes les idoles qu’ils croient fausses, de passer le fer du raisonnement à travers toutes les doctrines convenues, les croyances hypothétiques, même au risque de voir leurs propres espérances tomber dans le gouffre qu’ils ont ouvert.

Tout mal porte en lui-même son remède. La science peut se laisser entraîner à des doutes, à des négations qui nous épouvantent ; mais elle a également ses propres mystères, que l’œil humain ne peut sonder. Elle se contente aussi de mots toutes les fois qu’il est impossible de pénétrer l’essence même

des phénomènes. De quoi parle sans cesse la chimie ? D’affinité : n’est-ce pas là une force hypothétique, une entité aussi peu tangible que la vie ou que l’âme ? La chimie renvoie à la physiologie l’idée de la vie, et refuse de s’en occuper ; mais l’idée autour de laquelle la chimie se déroule a-t-elle quelque chose de plus *réel* ?

Cette idée est souvent insaisissable non-seulement dans son essence, mais encore dans ses effets. Peut-on méditer, par exemple, un instant sur les lois connues sous le nom de *lois de Berthollet* sans comprendre qu’on est en face d’un mystère impénétrable ? Dans les expériences qui ont servi à les fonder, les réactions chimiques sont ramenées à des conditions purement statiques et indépendantes des affinités proprement dites ; mais dans le simple phénomène d’une combinaison, dans cet entraînement qui précipite l’un vers l’autre des atomes qui se cherchent, se joignent en échappant aux composés qui les emprisonnaient, n’y a-t-il pas de quoi confondre l’esprit ? Pour moi, je pense que plus on étudie les sciences dans leur métaphysique, plus on peut se convaincre que celle-ci n’a rien d’inconciliable avec la philosophie la plus idéaliste : les sciences analysent des rapports, elles prennent des mesures, elles découvrent les lois qui règlent le monde phénoménal ; mais il n’y a aucun phénomène, si humble qu’il soit, qui ne les place en face de deux idées sur lesquelles la méthode expérimentale n’a aucune prise : en premier lieu, l’*essence* de la substance modifiée par les phénomènes ; en second lieu, la *force* qui provoque ces modifications. Nous ne connaissons, nous ne voyons que des dehors, des apparences ; la vraie réalité, la réalité substantielle et la cause nous échappent. Il est

digne d’une philosophie élevée de considérer toutes les forces particulières dont les effets sont analysés par les sciences diverses comme issues d’une force première, éternelle, nécessaire, source de tout mouvement, centre de toute action. En se plaçant à ce point de vue, les phénomènes, les êtres eux-mêmes ne sont plus que les formes changeantes d’une idée divine. La philosophie ne peut plus séparer l’être en deux parts, l’une composée de la substance divine, l’autre de la substance matérielle ; la première douée d’intelligence, de volonté, la seconde livrée au conflit de forces brutales et déréglées. Nous ne saurions étudier le coin le plus isolé du monde matériel sans y trouver la marque d’une action divine, de même que nous ne pouvons pas contempler sans cesse l’idée souveraine à l’état de pure virtualité, en négligeant ce monde infini de phénomènes et d’existences qui en est la réalisation mobile et en atteste l’éternelle fécondité. Arrivée à une certaine hauteur, la science se confond avec la métaphysique elle-même, car si la première nous fait voir que les phénomènes ne sont que des idées réalisées, la seconde nous montre que la réalité véritable des faits ne gît que dans l’absolu de la pensée divine.

AUGUSTE LAUGEL.

1. ↑ L’oxygène fut découvert presqu’en même temps, en 1774, par Priestley, Scheele et Lavoisier, le chlore par Scheele dans la même année.
2. ↑ Voyez, sur les théories de M. Laurent, une étude de M. Paul de Rémusat dans la *Revue* du 1er février 1855.

À propos de cette édition électronique

Ce livre électronique est issu de la bibliothèque numérique Wikisource[1]. Cette bibliothèque numérique multilingue, construite par des bénévoles, a pour but de mettre à la disposition du plus grand nombre tout type de documents publiés (roman, poèmes, revues, lettres, etc.)

Nous le faisons gratuitement, en ne rassemblant que des textes du domaine public ou sous licence libre. En ce qui concerne les livres sous licence libre, vous pouvez les utiliser de manière totalement libre, que ce soit pour une réutilisation non commerciale ou commerciale, en respectant les clauses de la licence Creative Commons BY-SA 3.0[2] ou, à votre convenance, celles de la licence GNU FDL[3].

Wikisource est constamment à la recherche de nouveaux membres. N’hésitez pas à nous rejoindre. Malgré nos soins, une erreur a pu se glisser lors de la transcription du texte à partir du fac-similé. Vous pouvez nous signaler une erreur à cette adresse[4].

Les contributeurs suivants ont permis la réalisation de ce livre :

- Zoé
- Hsarrazin
- ~Pyb
- ThomasV
- Ernest-Mtl
- Phe
- Aristoi

---

1. ↑ http://fr.wikisource.org
2. ↑ http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.fr
3. ↑ http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html
4. ↑ http://fr.wikisource.org/wiki/Aide:Signaler_une_erreur